

文章编号:1001-1498(2016)03-0418-06

辣木幼林对氮、磷、钾肥效响应及叶片的生理反应

许冰^{1,2}, 任开磊², 吴疆翀², 郑益兴^{2*}, 张燕平²

(1. 西南林业大学林学院, 云南 昆明 650000; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650000)

摘要: [目的] 研究辣木幼林时期对大量元素的需求状况。[方法] 应用“3414”配方施肥试验设计, 探讨 N、P、K 配方施肥对元阳干热河谷辣木幼龄林的生长量、叶片色素含量(叶绿素 a、b 及类胡萝卜素)和叶片含水率的影响。[结果] 肥力补充对辣木幼林的生长具有非常明显的促进效果, 其中 N 肥各施肥配方对幼林的各项生长量指标和生理指标具有显著或极显著的影响, P 肥对除地径增量和叶片含水率之外的其它设定指标也表现出显著效果, 而 K 肥各施肥处理仅对冠高增量、冠高比增量和叶片含水率具有显著影响。[结论] 综合方差分析、多重比较、极差分析和相关分析结果, 显著促进树高、地径、冠幅生长和叶片色素积累的组合均为本试验设计的中高施肥量配比, 其中 $N_3P_2K_3$ 为最优组合。辣木幼龄阶段对大量元素需求非常旺盛, 以维持其快速增长的生物量。

关键词: 辣木; “3414”施肥试验; 生长量; 叶片生理

中图分类号: S794.9

文献标识码: A

Effect of Formulated Fertilization of Nitrogenous, Phosphate, and Potash on Growth and Leaf Physiological Reactions of *Moringa oleifera*

XU Bing^{1,2}, REN Kai-lei², WU Jiang-chong², ZHENG Yi-xing², ZHANG Yan-ping²

(1. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650000, Yunnan, China;

2. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650000, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] To study the major element demand of *Moringa oleifera*. [Method] The effects of formulated fertilization of N, P and K on the growth, leaf pigment content and leaf water content of *Moringa oleifera* young individuals were tested in Yuanyang dry-hot valley by using fertilizer experiment design “3414”. [Result] The results showed that fertilization significantly promoted the growth of *M. oleifera* young trees. Fertilizer N significantly affected all indexes; Fertilizer P significantly affected all indexes except the ground diameter and leaf water content; Fertilizer K significantly affected the crown height, percentage of crown height, and leaf water content. Comprehensive results of variance analysis, range analysis, multiple comparison and correlation analysis showed that medium to high amount of fertilizer could significantly promote the growth of height, ground diameter, crown diameter, and accumulation of leaf pigments. [Conclusion] Among those treatments, $N_3P_2K_3$ is the superiorly effective. The results also suggested that *M. oleifera* trees need a great amount of NPK fertilizer to maintain rapid growth in young stage.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam.; fertilizer experiment “3414”; growth; leaf physiology

辣木 (*Moringa oleifera* Lam.), 属辣木科 (Moringaceae), 辣木属 (*Moringa*) 多用途速生树种, 为多年生乔木。辣木喜温耐旱, 抗逆性强, 对土壤条件和降

雨量有较强的适应性^[1]。辣木叶片营养全面, 作为一种新兴食品已逐渐为人们所重视。近 10 年来, 云南、海南、广东、广西和贵州等省及台湾地区均已大

收稿日期: 2015-12-23

基金项目: 林业公益性行业专项(201504113); 中国林科院基本科研业务费(CAFYBB2014QA016)及(Ririca2014003M)

作者简介: 许冰(1990—), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 经济林栽培。

* 通讯作者: 郑益兴, 副研究员。

量引种,并建立了一定规模的辣木引种试验基地^[2]。人工施肥是维持林地肥力的主要手段之一,尽管施肥在林业生产上有重要作用,但盲目、过量施肥,不仅影响植株生长,同时会造成肥料浪费、环境污染和土壤养分失衡等后果^[3]。近几年,云南很多热量充足的地区大力发展辣木产业,而有关高产、优质辣木果用林地的肥力维持技术却鲜有报道。此外,在生产过程中,出现辣木果用林因果实负载量大而导致主干断裂,部分辣木的植株长势弱小致使产量低下等问题。本研究在干热河谷特定气候条件下,探讨氮、磷、钾配方施肥对辣木幼龄林生长的影响,以期为培育优质丰产的辣木果用林进行科学的施肥提供

指导依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省红河州元阳县马街镇蔓延坡辣木园内(22°55'32"N, 102°27'13"E,海拔 250 m)。年均温 23.5℃,极端最高温 43.5℃,最低温 10℃;10℃以上积温 8 700℃·d,全年无霜;年降水量为 700 mm,年蒸发量 1 900 mm,约为降雨量的 3 倍。该地干湿季明显,雨季为 5~10 月,旱季为 11 月至翌年 4 月,属亚热带季风类型气候。试验地土样肥力分析的本底理化数据^[4]见表 1。

表 1 试验地土壤本底肥分测定数据

土壤层次/cm	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/%	全磷/%	全钾/%	水解性氮/(mg·g ⁻¹)	有效磷/(mg·g ⁻¹)	速效钾/(mg·g ⁻¹)
0~20	6.80	5.51	0.077	0.029	1.81	39.14	2.24	130.58
20~40	6.75	4.79	0.067	0.027	1.77	35.58	1.67	103.75
40~100	6.69	2.24	0.065	0.027	1.80	39.14	1.86	101.05

1.2 试验材料

本研究试验材料于 2014 年 4 月从非洲的马里引进。试验林营造于 2014 年 9 月。试验前先进行全垦整地,并清除杂灌,同时每公顷施入 1 500 kg 当地农家肥作为基肥,直到本试验施肥前无任何肥力补充。辣木造林采用挖塘直播方式进行,植塘规格 40 cm×40 cm×40 cm,其配置密度为株行距 2 m×2 m。种子直播,每穴 2 粒,播种深度约 2 cm,待出苗整齐后每穴保留 1 株健壮的苗木,之后进行常规的水分管理。

1.3 施肥试验设计

由于受到试验林营建后降雨量减少和冬季低温的影响,辣木生长缓慢,但保存完好,故在第 2 年春季对辣木林地进行施肥。供试肥料为氮肥(尿素,含氮 46.4%)、磷肥(过磷酸钙,含 P₂O₅ 16%)和钾肥(氯化钾,含 K₂O 60%)。试验采用完全随机区组设计,以 N、P、K 作为 3 个施肥因素,各 4 个水平,根据“3414”施肥试验设计^[5-6]产生 14 个处理(配方),3 次重复,共计 42 个试验小区。每个小区 8 株,呈单行等株排列,中间 4 株为测定样株。小区之间设保护行,以不施肥为对照。试验各因素水平设计如表 2 所示,产生的施肥处理编号 1~14 依次为 N₀P₀K₀、N₀P₂K₂、N₁P₂K₂、N₂P₀K₂、N₂P₁K₂、N₂P₂K₂、N₂P₃K₂、N₂P₂K₀、N₂P₂K₁、N₂P₂K₃、N₃P₂K₂、N₁P₁K₂、N₁P₂K₁、N₂P₁K₁。供试磷肥全部作基肥施用,氮肥和钾肥 50% 作基肥,50% 作追肥。基肥于 2015 年 3 月

1 日施用,追肥于 2015 年 4 月 1 日施用。在离植株基部 30 cm 处采用环状沟施,深度为 20~30 cm,沟宽 20~25 cm(以不伤到根为宜),肥料经搅拌后均匀入沟底后,再浇水使之溶解并覆土。

表 2 试验因子及施肥水平

施肥水平	N/(g·株 ⁻¹)	P ₂ O ₅ /(g·株 ⁻¹)	K ₂ O/(g·株 ⁻¹)
0	0	0	0
1	50	30	20
2	100	60	40
3	150	90	60

1.4 数据调查

1.4.1 生长量指标测定及方法 由于辣木幼龄期较短(依立地条件一般 6~10 个月),且在开花前已基本完成其生活史的株高生长^[7],故本研究仅对其在幼龄速生阶段的生长情况进行调查。施肥试验前,先进行测定样株的本底数据采集,之后于 2015 年 7 月 30 日进行第 2 次生长数据调查。调查指标主要包括株高、地径、冠幅、冠高和冠高比^[8]。生长量指标(株高增量、地径增量、冠幅增量、冠高增量和冠高比增量)为前后两次所测相应数据的差值。株高、冠幅和冠高测量采用卷尺(精确到 0.1 cm);地径测量采用游标卡尺(精确到 0.01 mm)。

1.4.2 叶片采集 2015 年 7 月 30 日,在每个处理小区的 4 株测定样本中,选取树体中上部东南西北 4 个方向枝条上的成熟功能叶片,每个方向各采集 50 片均匀混合作为叶片含水率及色素含量分析的

样品。

1.4.3 叶片含水率测定方法 取部分上述叶片在野外随即称取鲜重(W_f, g),之后带回实验室放入105℃烘箱内杀青0.5 h,然后将温度调至75℃干燥至恒重,称量得到干重(W_d, g),称量质量采用分析天平(精确到0.001 g),计算含水率($L, %$)的公式: $L = (W_f - W_d) / W_f \cdot 100\%$

1.4.4 叶片色素含量测定方法 取上述采集叶片按照李得孝等^[9]改进的Arnon法测定叶片色素含量(公式略),计算叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素总含量和类胡萝卜素含量。每份叶样重复测量3次,取平均值作为相应叶片色素含量。测量吸光度使用DU800分光光度计。

1.5 数据处理

采用SPSS 22.0软件对所有获得的测定指标进行方差分析、极差分析、多重比较和相关分析^[10],其中多重比较和相关性分析分别采用邓肯氏(Duncan's)和Pearson法进行。

2 结果与分析

2.1 不同配方施肥对辣木幼林生长和叶片生理的影响

2.1.1 不同配方施肥对辣木株高和地径的影响

方差分析(表3)结果显示,株高增量和地径增量差异均达到极显著水平,说明施肥对辣木幼林的株高和地径的生长产生显著差异影响。进一步对14个处理的株高和地径进行多重比较(篇幅所限,未列出),得出不同施肥处理对辣木株高和地径生长影响程度不同。结果显示,树高增量最优组合是处理9,相比于对照(处理1),提高了43.15%;处理9的株高,显著大于除处理6、11、10和5以外的其它施肥配方;地径增量最优组合为处理6,相比对照,提高

了39.38%;处理6显著高于除处理11、8、7、5、9、3和4以外的其它组合。

2.1.2 不同配方施肥对辣木幼林冠幅、冠高和冠高比的影响 冠幅增量、冠高增量以及冠高比增量得方差分析结果(表3)显示,各指标的差异性均达到极显著水平。进一步对14个处理的冠幅增量、冠高增量和冠高比增量进行多重比较分析(篇幅所限,未列出),冠幅增量最优组合为处理6,增量最小组合为处理1(对照),处理6的平均冠幅增量相比对照提高88.06%,处理6显著高于除处理11和8以外的其它组合。冠高增量最小的两个组合是处理7(54.67 cm)和对照(55.88 cm),最优配方为处理3,处理3显著高于除处理14以外的其他组合。冠高比增量最优组合为处理3,处理3显著高于除处理14和13以外的其它处理组合。

2.1.3 不同处理组合对辣木幼树叶片含水率及色素含量的影响 叶片含水率和叶片色素含量进行方差分析结果(表3)显示,叶片含水率、叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素总量和类胡萝卜素含量差异均达到极显著水平。多重比较结果显示(篇幅所限,未列出),5个指标最小的组合均为处理1(对照),叶片含水率最优组合是处理9,相比对照提高4.49%,处理9显著大于除处理13、12、3、6和8以外的其它组合;叶绿素a含量最优组合是处理6,相比对照提高54.69%,处理6显著大于处理8、4、14、11和10以外的其它组合;叶绿素b含量最优处理为处理6,相比对照提高81.85%,显著大于除处理4、8、14、10、11和13以外的其它组合;叶绿素总量最优的是处理6,显著大于除处理8、4、14、10和11以外的其它组合;类胡萝卜素含量最优组合是处理6,相比对照提高35.52%,显著大于处理2、4、12、13、14和1。

表3 不同处理条件下各指标的方差分析和主要变异参数

指标	均值及变异参数			平方和	平均值平方	F值
	均值	变幅	变异系数			
株高增量/cm	74.43	60.25 ~ 86.25	23.30%	9 869.643	759.203	2.897**
地径增量/mm	20.64	16.42 ~ 22.83	23.89%	648.696	49.900	2.250**
冠幅增量/cm	50.44	35.67 ~ 67.08	29.84%	11 712.030	900.925	5.315**
冠高增量/cm	68.87	54.67 ~ 90.55	23.70%	17 802.160	1 369.397	7.895**
冠高比增量/%	7.27	1.97 ~ 15.09	72.62%	3 473.228	267.171	34.675**
叶片含水率/%	25.41	24.96 ~ 26.08	2.70%	20.375	1.567	4.165**
叶绿素a含量/(mg·g ⁻¹)	1.96	1.51 ~ 2.34	22.00%	8.659	4.568	4.568**
叶绿素b含量/(mg·g ⁻¹)	0.44	0.31 ~ 0.57	32.95%	1.272	0.098	6.282**
叶绿素总量/(mg·g ⁻¹)	2.40	1.83 ~ 2.91	23.28%	16.296	1.254	5.372**
类胡萝卜素含量/(mg·g ⁻¹)	0.46	0.40 ~ 0.54	21.08%	0.363	0.028	3.473**

注:*表示差异显著,即 $0.01 < p < 0.05$; **表示差异极显著,即 $p < 0.01$,下同。

2.2 影响辣木幼林生长量和叶片生理的主导因子及其最优水平组合

2.2.1 影响辣木幼林株高和地径的主导因子及其最优水平组合 N、P 和 K 各因素的水平间方差分析结果(表4)显示,N 肥不同水平均表现出极显著

差异;而 P 肥只在株高增量上表现出极显著差异。对株高增量和地径增量进行极差分析(表5),可得影响株高和地径主导因子是 N 肥,其次是 P 肥,株高和地径的最优组合为 N₃P₂K₃ 和 N₃P₃K₃。

表4 各指标不同因素水平间方差分析

来源				来源					
		N	P	K		N	P	K	
株高增量	SS	3 569.112	3 244.945	1 512.512	地径增量	SS	436.333	102.799	40.569
	MS	1 189.704	1 081.648	504.171		MS	145.444	34.266	13.523
	F	4.494 **	4.086 **	1.905		F	6.657 **	1.568	0.619
冠幅增量	SS	5 378.424	2 346.602	550.976	冠高增量	SS	2 793.136	2 593.92	3 632.036
	MS	1 792.808	782.201	183.659		MS	931.045	864.64	1 210.679
	F	10.073 **	4.395 **	1.032		F	4.88 **	4.532 **	6.346 **
冠高比增量	SS	1 280.664	200.334	613.049	叶片含水率	SS	5.525	2.146	5.879
	MS	426.888	66.778	204.35		MS	1.842	0.715	1.96
	F	37.025 **	5.792 **	17.724 **		F	4.715 **	1.832	5.017 **
叶绿素 a 含量	SS	5.688	1.578	0.208	叶绿素 b 含量	SS	0.692	0.275	0.009
	MS	1.896	0.526	0.069		MS	0.231	0.092	0.003
	F	12.251 **	3.399 *	0.448		F	13.147 **	5.231 **	0.17
叶绿素总含量	SS	10.338	3.103	0.241	类胡萝卜素含量	SS	0.103	0.134	0.064
	MS	3.446	1.034	0.08		MS	0.034	0.045	0.021
	F	13.617 **	4.086 **	0.317		F	4.084 **	5.344 **	2.56

2.2.2 影响辣木幼林树冠生长指标的主导因子及其最优水平组合 N、P 和 K 各因素的水平间方差分析结果(表4)表明,N 和 P 肥不同水平对3个指标均表现出极显著差异;K 肥在冠高增量和冠高比增量上表现出极显著差异。冠幅增量、冠高增量和冠高比增量的极差分析结果(表5)显示影响冠幅的

主导因子是 N 肥,其次是 P 肥;影响冠高的主导因子是 K 肥,其次是 P 肥,最后是 N 肥;影响冠高比的主导因子是 N 肥,其次是 K 肥,最后是 P 肥,冠幅、冠高和冠高比的最优组合分别为 N₃P₂K₂、N₁P₁K₁ 和 N₁P₁K₁。

表5 各指标极差分析

类别	极差值(R)			因子主次顺序	优水平			优组合
	N	P	K		N	L	K	
株高增量/cm	17.00	13.87	11.66	N > P > K	N ₃	P ₂	K ₃	N ₃ P ₂ K ₃
地径增量/mm	5.96	3.00	1.75	N > P > K	N ₃	P ₃	K ₃	N ₃ P ₃ K ₃
冠幅增量/cm	27.21	14.12	5.14	N > P > K	N ₃	P ₂	K ₂	N ₃ P ₂ K ₂
冠高增量/cm	17.88	19.77	20.84	K > P > N	N ₁	P ₁	K ₁	N ₁ P ₁ K ₁
冠高比增量/%	9.85	7.84	9.78	N > K > P	N ₁	P ₁	K ₁	N ₁ P ₁ K ₁
叶片含水率/%	0.77	0.41	0.81	K > N > P	N ₁	P ₂	K ₁	N ₁ P ₂ K ₁
叶绿素 a 含量/(mg · g ⁻¹)	0.47	0.17	0.16	N > P > K	N ₂	P ₂	K ₃	N ₂ P ₂ K ₃
叶绿素 b 含量/(mg · g ⁻¹)	0.15	0.08	0.07	N > P > K	N ₂	P ₂	K ₃	N ₂ P ₂ K ₃
叶绿素总量/(mg · g ⁻¹)	0.62	0.34	0.24	N > P > K	N ₂	P ₂	K ₃	N ₂ P ₂ K ₃
类胡萝卜素含量/(mg · g ⁻¹)	0.08	0.08	0.04	N > P > K	N ₃	P ₃	K ₂	N ₃ P ₃ K ₂

2.2.3 影响辣木幼林叶片含水率及色素含量的主导因子及其最优水平组合 表4 显示在叶片4个色素含量相关指标方面,N 和 P 肥不同水平均表现出极显著或显著性差异;而对于叶片含水率,则是 K 肥和 N 肥表现出极显著差异。叶片含水率和色素相关指标的极差分析结果(表5)显示:影响叶片色素含量的主导因子是 N 肥,其次是 P 肥;影响叶片含水

率的主导因子是 K 肥,其次 N 肥;叶片含水率、叶绿素含量和类胡萝卜素含量最优组合分别为 N₁P₂K₁、N₂P₂K₃ 和 N₃P₃K₂。

2.3 辣木生长量及叶片色素含量指标间的相关分析

生长量及其生理指标的相关分析结果(表6)可以看出,生长量指标中的株高、地径、冠幅和冠高增

量之间相互呈现极显著正相关,这些指标均在不同程度表现树体的长势情况。此外,辣木幼林叶片的4个色素含量指标之间相互均呈现极显著正相关。除了叶绿素 a 与树高增量无显著性相关外,叶绿素

总量与树高增量无显著性相关,而其它的色素含量指标都和表现树体长势情况的3个指标(株高增量、地径增量和冠幅增量)表现出极显著或显著正相关。

表6 各指标间相关性分析

	株高增量	地径增量	冠幅增量	冠高增量	冠高比增量	叶片含水率	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素	总叶绿素
株高增量	1									
地径增量	0.738 **	1								
冠幅增量	0.504 **	0.482 **	1							
冠高增量	0.565 **	0.429 **	0.211 **	1						
冠高比增量	-0.252 **	-0.177 *	-0.211 **	0.654 **	1					
叶片含水率	0.051	0.054	0.076	0.115	0.096	1				
叶绿素 a	0.136	0.176 *	0.208 **	-0.202 **	-0.355 **	-0.04	1			
叶绿素 b	0.152 *	0.190 *	0.251 **	-0.218 **	-0.391 **	-0.057	0.816 **	1		
类胡萝卜素	0.272 **	0.183 *	0.211 **	-0.248 **	-0.544 **	0.147	0.486 **	0.532 **	1	
总叶绿素	0.145	0.186 *	0.227 **	-0.214 **	-0.378 **	-0.046	0.988 **	0.895 **	0.516 **	1

3 讨论

大量的研究结果指出,氮素是植物体内叶绿素、蛋白质等许多重要化合物的组分,是影响植物生长最重要的元素,在植物生命活动中占有首要地位^[11]。将氮、磷、钾肥按照适宜的比例和合理配方加以施用,可以使林木在短期内有效而迅速的生长发育^[12]。李玲等对辣木幼苗^[13]研究发现,缺氮处理的植株症状出现早,表现最为明显,而缺磷处理的植株表现相对不明显。此外,王斌等^[14]的施肥试验显示,高氮水平可显著促进生长,磷钾次之,维持高氮水平,磷钾作用才能显现出来。刘福妹等^[15]和胡磊等^[16]研究发现氮肥可以显著促进植株树高和地径的生长以及叶绿素的积累,这些结果与本研究基本一致。此外,研究发现,K肥可以显著促进植株树高生长、地径增粗^[17]和冠幅增大^[18],P肥可以显著影响植株地径增粗^[19]。上述研究结论的共同点是N肥可以显著影响供试植株的生长,而对于P和K肥是否能够对树体的生长量指标产生显著或极显著影响则没有统一的说法。本研究结果显示,N肥对辣木幼林的所有生长量和相关生理指标均表现出极显著差异影响,而P肥对地径生长却未产生显著影响,该结论与上述一些研究结果存在差异,其产生的原因可能是树种选择、试验立地条件及施肥配方差异所致。此外,有研究表明抗旱性较强的植物能维持较高的叶片含水率^[20]。本研究中,辣木生长于元阳干热河谷高温干旱条件下,叶片较高的含水率有助于增强其对高温干旱的适应能力,同时对N、P和

K的巨大需求有利于辣木幼林强壮根系,提高气孔调节能力^[21],增强细胞膜通透性^[22-23],从而显著增强植株的抗旱性。

4 结论

本研究探讨氮、磷、钾配方施肥对辣木幼林的影响,结果表明,N肥的4个水平对各项指标都表现出显著或极显著差异影响,P肥4个水平对除地径增量和叶片含水率以外的其它8个指标表现出显著或极显著差异影响,K肥的4个水平对冠高增量、冠高比增量和叶片含水率3个指标有显著或极显著差异影响。总体而言,各指标的最优组合稍有不同,但促进树高、地径、冠幅生长和叶片色素积累的组合都是在本研究设计的中高施肥量配方,包括 $N_3P_3K_2$ 、 $N_3P_2K_3$ 、 $N_3P_3K_3$ 、 $N_3P_2K_2$ 和 $N_2P_2K_3$ 。为了应对目前生产过程中普遍出现的树体弱势问题,同时使辣木更快的形成结实产量,需要把增强辣木幼林的长势作为重点,考虑到N肥是影响株高、地径和冠幅生长的主导因子,P肥对株高、冠幅和叶绿素含量有显著作用而对地径生长的显著性不明显,而K肥在株高、地径以及叶绿素含量等指标的最优组合中施肥量为 K_3 ,故本研究选择 $N_3P_2K_3$ 作为辣木幼林的推荐施肥配方。

参考文献:

- [1] Ramachandran C, Peter KV, Gopalakrishnan PK. Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable[J]. *Economic Botany*, 1980, 34(3): 276-283.
- [2] 陆 斌, 宁德鲁, 杜春花, 等. 云南的辣木引种试验初报[J].

- 西部林业科学, 2007, 36(4): 20-25.
- [3] 周慧平, 高超, 朱晓东. 关键源区识别: 农业非点源污染控制方法[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3368-3374.
- [4] 郑益兴, 彭兴民, 张燕平. 配方施肥对印楝人工林产量和生长性状的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(4): 545-552.
- [5] 杨俐苹, 白由路, 王贺, 等. 测土配方施肥指标体系建立中“3414”试验方案应用探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, (4): 1018-1023.
- [6] 吴志勇, 闫静, 施维新, 等. “3414”肥料效应试验的设计与统计分析[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(1): 135-141.
- [7] A. Ramesh Kumar, M. Prabhu, V. Ponnuswami, et al. SCIENTIFIC SEED PRODUCTION TECHNIQUES IN MORINGA[J]. Agri. Reviews, 2014, 35(1): 69-73.
- [8] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 5-23.
- [9] 李得孝, 郭月霞, 员海燕, 等. 玉米叶绿素含量测定方法研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 153-155.
- [10] 韩汉鹏. 试验统计引论[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 27-135.
- [11] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 28-33.
- [12] 肖良俊, 宁德鲁, 李勇杰. 配方施肥对八角幼林生长结实的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 87-90.
- [13] 李玲, 殷振华, 亚华金, 等. N、P、K、Ca 微量元素培养对辣木幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(16): 52-56.
- [14] 王斌, 张月华, 王玉奎, 等. 氮磷钾施肥比例对枣幼树生长和结果的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 473-476.
- [15] 刘福妹, 姜静, 刘桂丰. 施肥对白桦树生长及开花结实的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 116-120.
- [16] 胡磊, 李吉跃, 尚富华, 等. 不同施肥处理对毛白杨人工林生长及营养状况的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 115-121.
- [17] 赵燕, 董雯怡, 张志毅, 等. 施肥对毛白杨杂种无性系幼苗生长和光合的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(4): 70-77.
- [18] 胡冬南, 游美红, 袁生贵, 等. 不同配方施肥对幼龄油茶的影响[J]. 2005, 20(1): 94-97.
- [19] 郑益兴, 刘秀贤, 杨朝凤, 等. 元谋干热河谷印楝幼林施肥效应初步研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 137-142.
- [20] 刘君娣, 王有科, 贺春燕, 等. 三个杏品种叶片主要抗旱生理指标的比较[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(6): 71-75.
- [21] 李明德, 郑圣先. 钾素营养对玉米生长及抗旱性的影响[J]. 土壤肥料, 1996, 4: 10-12.
- [22] 王乃江, 赵忠, 赖亚飞. 施肥对大扁杏抗旱生理特性和生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(4): 12-14.
- [23] 李秧秧, 邵明安. 小麦根系对水分和氮肥的生理生态反应[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 383-388.

(责任编辑: 张玲)